

Carbon Dynamics in Forest and Peatland Ecosystems

PREFACE

Globally, forest vegetation and soils contain about 1240 Pg of carbon (C), and as much as two-thirds of the terrestrial C is contained in soils (Lal 2005). Soil organic carbon (SOC) may comprise as much as 85% of the terrestrial C stock in the boreal forest (Dixon et al. 1994). The SOC pool represents a dynamic equilibrium of gains and losses of C in the ecosystem, and a variety of factors will affect this equilibrium in forest soils. For example, climate has a pronounced effect on SOC density through precipitation, potential evapotranspiration (PET) and the ratio between PET and annual precipitation, also known as the PET ratio (Lal 2004).

The forest soil C stock is significantly affected by both natural and anthropogenic disturbances (Hendrickson 2003). A natural disturbance can be a destructive event with drastic perturbation of an ecosystem, such as wind, fire, drought, insects and diseases, which could result in changes in soil moisture and temperature regimes, and succession of forest species with differences in quantity and quality of biomass returned to the soil. Especially in boreal forests, fire is a major disturbance agent, which may have a particularly long-term impact on C stock in soils. Fire and other natural disturbances may also change the canopy cover, and thereby affect soil erosion (Elliot 2003), which also affects the SOC stock of the surface layer. The impact of fire on SOC stock depends on fire temperature and duration, SOC stock and its distribution in the soil profile, and change in the decomposition rate of SOC. Both climate and disturbance also interact to influence latitudinal patterns of vegetation and soil C storage (McGuire et al. 2002). Anthropogenic disturbance agents, which may affect SOC in forests, include forest management activities, deforestation, afforestation, and subsequent management of forest plantations.

Climate change may affect ecosystem productivity, allocation of aboveground versus belowground biomass and microbial population (Johnson and Curtis 2001). For example, it has been predicted that under climate change scenarios, the standing biomass (aboveground C stock) would increase and the SOC stock would decrease in minimally disturbed northern forests (Morgan et al. 2001). Determining whether forest soils (both upland and lowland) are, have been, or will be a C source or sink is critical to improving our ability to predict changes in the C balance in the northern ecosystems.

The Science of Changing Climates: Impact on Agriculture, Forestry and Wetlands, a conference jointly organized by the Canadian Societies of Agronomy, Soil Science and Animal Science (CSA, CSSS, CSAS), took place July 20–23, 2004, in Edmonton, Alberta. Proceedings from this well-attended interdisciplinary conference are being published as a peer-

La dynamique du carbone dans l'écosystème des forêts et des tourbières

PRÉFACE

La végétation et le sol des forêts de la planète renferment environ 1 240 Pg de carbone. En outre, jusqu'aux deux tiers du carbone terrestre est séquestré dans le sol (Lal 2005). Dans les forêts boréales, le carbone organique du sol (COS) pourrait constituer jusqu'à 85 pour cent des réserves terrestres de carbone (Dixon et coll. 1994). Le réservoir de COS reflète un équilibre dynamique entre les apports et les pertes de carbone dans l'écosystème et une multitude de facteurs agissent sur cet équilibre dans les sols forestiers. Le climat, par exemple, a un effet marqué sur la densité du COS, avec les précipitations, le potentiel d'évapotranspiration (PET) et le ratio entre ce dernier et les précipitations annuelles, ou ratio PET (Lal 2004).

Les réserves de carbone du sol forestier sont largement affectées par les phénomènes naturels et anthropiques (Hendrickson 2003). Un phénomène naturel peut avoir des conséquences dévastatrices et modifier l'écosystème de manière dramatique. C'est le cas du vent, du feu, de la sécheresse, des insectes et des maladies, qui transforment parfois les régimes hygrométrique et thermique du sol, de même que la succession des essences forestières, ce qui aura des répercussions sur le volume et la qualité de la biomasse rendue au sol. Dans les forêts boréales, le feu est un agent très perturbateur, susceptible d'avoir une incidence à fort long terme sur les stocks de carbone du sol. Le feu et d'autres phénomènes naturels peuvent aussi modifier le couvert, ce qui favorisera l'érosion (Elliot 2003), donc les réserves de COS en surface. L'impact du feu sur les stocks de COS dépend de la température et de la durée de l'incendie, de l'importance des réserves de carbone et de leur répartition dans le sol, ainsi que des changements subis par le taux de décomposition du COS. À de telles latitudes, le climat et les phénomènes naturels interagissent pour altérer le type de végétation et le stockage du carbone dans le sol (McGuire et coll. 2002). Parmi les phénomènes anthropiques qui affectent le COS des forêts on retrouve l'exploitation forestière, le déboisement, le boisement et la gestion subséquente des nouvelles plantations forestières.

Le changement climatique pourrait affecter la productivité de l'écosystème, la répartition de la biomasse superficielle et souterraine, et la microflore du sol (Johnson et Curtis 2001). Ainsi, selon les divers scénarios de changement climatique, on prévoit une augmentation de la biomasse sur pied (stocks aériens de carbone) et une diminution des réserves de COS dans les forêts boréales les moins perturbées (Morgan et coll. 2001). Il faut absolument savoir si le sol des forêts (en montagne et dans les plaines) est, a été ou deviendra source ou puits de carbone si l'on veut mieux prévoir l'évolution du bilan du carbone dans les écosystèmes nordiques.

reviewed book arising from the general plenary sessions (Bhatti et al. 2005). At the conference, CSSS organized three sessions on Soil C Dynamics in Forested Ecosystems, Influence of Climate Change on Below-ground Productivity in Forested Ecosystems, and Influence of Climate Change on C Dynamics in Forested Peatlands, with a total of 15 oral presentations and 16 posters. These sessions examined the importance of soil C in ecosystem processes, potential feedback on atmospheric CO₂ concentration and climate change, and improved both our knowledge of the amounts, spatial distributions and processes controlling soil C dynamics and our ability to predict changes in the terrestrial C balance. Following the conference, all the presenters were invited to submit manuscripts based on their presentation for a special issue of the Canadian Journal of Soil Science. This special issue of CJSS comprises 14 papers, many based on study sites in boreal Canada.

Since modeling is an important tool for predicting the effects of climate change on soil C dynamics and below-ground processes, four papers deal with modeling forest soil C dynamics in relation to vegetation. Smith et al. analyzed projected changes in mineral soil C of European forests, 1990–2100, while three papers were related to Canadian forest ecosystems. Shaw et al. applied EFIMOD 2, an individual tree model of the forest-soil ecosystem, to jack pine along the Boreal Forest Transect Case Study in northern Manitoba and Saskatchewan. Larocque et al. modeled the effect of temperature increase on the soil C cycle in three eastern Canadian forest types characterized by different climatic conditions. Assuming implementation of Kyoto Protocol 3.4 to include forest management in national C accounting, Neilson et al. used goal programming to maximize both C in tree stocks and return on investment for a New Brunswick forest.

Two of the four papers on forest soil processes are closely associated with model development. Balland et al. applied a forest hydrology model to improve modeling of soil temperature and moisture regimes in a jack pine, black spruce and aspen forest stand in Saskatchewan, including prediction of snow pack depth and frost penetration. Paré et al. used long-term incubations of humus and 0–20 cm mineral soil to predict the effect of increased temperature on soil organic matter decomposition along a latitudinal gradient encompassing sugar maple, balsam fir and black spruce forests in eastern Canada. Saurette et al. compared soil CO₂ efflux along a chronosequence (3-, 9-, 11-yr-old stands) of hybrid poplar (*Populus deltoides* × *Populus* × *petrowskyana* var. Walker) plantations with that from an agricultural field. They estimated soil C stock changes based on soil respiration rates measured using portable or static gas chamber methods. At the more detailed chemical level, chemical and isotopic ($\delta^{13}\text{C}$) changes accompanying decomposition of coarse woody debris are shown by Preston et al. to be consistent with increased proportions of C derived from the lignin biopolymer.

The six papers on peatlands/wetlands have a strong emphasis on measuring and modeling C stocks. However Thormann focuses on biology, with a comprehensive review on diversity and function of fungi in peatlands and their role in decomposition. Northern peatlands have accumulated

Du 20 au 23 juillet 2004, la Société canadienne d'agronomie (SCA), la Société canadienne de la science du sol (SCSS) et la Société canadienne de science animale (SCSA) ont tenu conjointement à Edmonton (Alberta) un colloque ayant pour thème *La science des changements climatiques : les impacts sur l'agriculture, la foresterie et les marécages*. Les actes des plénières de ce colloque pluridisciplinaire auquel assistaient un grand nombre de chercheurs seront édités sous forme d'une publication sanctionnée par la collectivité scientifique (Bhatti et coll. 2005). À cette occasion, la SCSS avait organisé trois ateliers ayant respectivement pour thème la dynamique du carbone du sol dans les écosystèmes forestiers, l'incidence du changement climatique sur la productivité souterraine des écosystèmes forestiers et l'impact du changement climatique sur la dynamique du carbone du sol dans les tourbières forestières. Quinze exposés et seize affiches y avaient été présentés. Ces ateliers ont abordé plusieurs sujets : l'importance du carbone du sol dans les processus de l'écosystème; la rétroaction éventuelle sur la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et le changement climatique; les façons d'en apprendre davantage sur les stocks de carbone dans le sol, leur répartition dans l'espace et les processus qui en commandent la dynamique; la capacité de prévoir l'évolution du bilan du carbone terrestre. Au sortir du colloque, les présentateurs avaient tous été conviés à remettre leurs notes en prévision de la publication d'un numéro spécial de la Revue canadienne de la science du sol. Ce numéro spécial le voici. Il regroupe 14 articles, dont bon nombre reposent sur l'étude de sites dans les zones boréales du Canada.

La modélisation étant devenue un outil privilégié pour prévoir les répercussions du changement climatique sur la dynamique du carbone du sol et les processus souterrains, quatre articles expliquent comment modéliser la dynamique du carbone des sols forestiers par rapport à la végétation. Smith et ses collaborateurs analysent les changements que devrait subir le carbone du sol minéral dans les forêts européennes entre 1990 et 2100, mais les trois autres articles se concentrent sur les écosystèmes forestiers du Canada. Shaw et son équipe ont appliqué le modèle EFIMOD 2 de l'écosystème sol-forêt s'appuyant sur un seul arbre au pin gris, le long du transect d'une étude sur la forêt boréale dans le nord du Manitoba et de la Saskatchewan. De leur côté, Larocque et ses collègues ont modélisé l'incidence d'une élévation de la température sur le cycle du carbone du sol dans trois types de forêts de l'est du Canada se caractérisant par trois régimes climatiques. Supposant que la gestion des forêts sera intégrée à la comptabilisation des réserves nationales de carbone avec l'application du Protocole de Kyoto 3.4, Neilson et ses collaborateurs recourent à la programmation des objectifs pour voir comment maximiser à la fois les réserves forestières de carbone et le rendement du capital investi pour une forêt du Nouveau-Brunswick.

Deux des quatre articles sur les processus du sol forestier présentent des liens étroits avec l'élaboration des modèles. Balland et son équipe ont utilisé un modèle de l'hydrologie forestière pour parvenir à une meilleure modélisation des régimes thermique et hygrométrique du sol dans un peuplement de pins gris, d'épinettes noires et de trembles de la

significant amounts of C since the early Holocene, but rates of production and decomposition can be highly variable, limiting our ability to predict C stocks and fluxes under changing conditions. Robinson determined true C accumulation in peatlands of southwestern NWT, Canada, through detailed analysis of peat cores. Bauer et al. have developed statistical models to estimate the C density of organic soils, and in particular examined the utility of models based on simple field-based variables. Trettin et al. presented a synthesis on the impact of climate change on C dynamics in forested peatlands. They concluded that climate change influence on northern peatlands C dynamics is mediated primarily through changes in the hydrologic cycle; in the arctic, however, where permafrost will be lost due to climatic warming, temperature is expected to be the dominant factor affecting the peatland C balance.

Boreal regions often show a complex mosaic of forests, wetlands and intermediate forms, and two papers examine C stocks and processes in transitional zones that are rarely studied. Bhatti et al. determined plant plus soil C stock trends in forested peatland margins in central Saskatchewan, along transects running from upland forests into peats. Nicholson et al. investigated historical patterns and effects of drought and flood on vegetation communities and C stocks of shallow peatland ponds in northern Alberta.

The conference and the preparation of this special issue was an important opportunity for interdisciplinary dialogue among soil scientists, ecologist, modelers and peatland specialists. On the behalf of the Conference Program Committee, we wish to thank our Platinum Sponsors: Alberta Agriculture, Food and Rural Development; Canadian Adaptation and Rural Development Fund; Canadian Climate Impacts and Adaptation Research Network; National Agroclimate Information Service; Natural Resources Canada, Canadian Forest Service; Poplar Council of Canada; Prairie Adaptation Research Collaborative; and University of Alberta; our Gold Sponsor: Ducks Unlimited; and our Silver Sponsors: Agrium; and Merial/igenity. We also want to gratefully acknowledge the thorough work of reviewers, who helped to ensure that all the manuscripts met the highest scientific standards. And finally, thanks are due to the Canadian Journal of Soil Science for their careful attention to the volume and timely publication of the issue.

Bhatti, J. S., Lal, R., Apps, M. J. and Price, M. 2005. Climate change and managed ecosystems. CRC Press, Boca Raton, FL. 469 pp.

Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C. and Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. *Science* **263**: 185–190.

Elliot, W. J. 2003. Soil erosion in forest ecosystems and carbon dynamics. Pages 175–190 in J. M. Kimble, L. S. Heath, R. A. Birdsey, and R. Lal, eds. The potential of US forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, Boca Raton, FL.

Hendrickson, O. 2003. Influence of global change on carbon sequestration by agricultural and forest soils. *Environ. Rev.* **11**: 161–192.

Johnson, D. W. and Curtis, P. S. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecol. Manage.* **140**: 227–238.

Saskatchewan, notamment pour prévoir l'épaisseur de la couche de neige et la pénétration du gel. Paré et ses collègues ont recouru à l'incubation à long terme de l'humus et d'une couche de sol minéral de 0 à 20 cm d'épaisseur pour prévoir l'incidence d'une hausse de la température du sol sur la décomposition de la matière organique dans le sol, le long d'un gradient de latitude englobant les forêts d'érables à sucre, de sapins baumiers et d'épinettes noires de l'est du Canada. Pour leur part, Saurette et ses collaborateurs ont comparé les émanations chronologiques de CO₂ des peuplements de 3, de 9 et de 11 ans de peuplier hybride (*Populus deltoides* × *Populus* × *petrowskyana* var. Walker) à celle d'un champ cultivé. Les chercheurs ont estimé la fluctuation des stocks de carbone d'après le taux de respiration du sol, jaugé grâce à une chambre à gaz statique portable. En se penchant davantage sur la chimie du sol, Preston et ses collaborateurs ont découvert que les changements chimiques et isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) qui accompagnent la décomposition des débris ligneux grossiers sont cohérents avec une hausse des proportions de carbone issues du polymère biologique qu'est la lignine.

Les six articles sur les tourbières et les terres humides insistent fortement sur la quantification et la modélisation des réserves de carbone. Toutefois, Thormann met l'accent sur la biologie et effectue une analyse complète de la diversité et du rôle des champignons dans les tourbières, ainsi que de leur utilité dans la décomposition. Les tourbières boréales ont accumulé beaucoup de carbone depuis le début de l'Holocène, mais les taux de production et de décomposition varient considérablement, ce qui nous empêche de prévoir les stocks et les flux de carbone avec exactitude dans le contexte du changement climatique. Robinson a calculé l'accumulation réelle de carbone dans les tourbières du sud-ouest des Territoires du Nord-Ouest, au Canada, en procédant à une analyse minutieuse des carottes de sol. Bauer et son équipe ont créé des modèles statistiques permettant d'estimer la densité du carbone dans les sols organiques, mais se sont surtout penchés sur l'utilité des modèles reposant sur des variables simples relevées sur le terrain. Trettin et ses collègues proposent une synthèse des répercussions du changement climatique sur la dynamique du soufre dans les tourbières forestières. Les chercheurs concluent que l'influence du changement climatique sur la dynamique du carbone dans les tourbières boréales dépend essentiellement des variations du cycle de l'eau; dans l'Arctique cependant, où le permafrost disparaîtra avec le réchauffement planétaire, on s'attend à ce que la température reste le principal facteur responsable de la modification du bilan du carbone dans les tourbières.

Les régions boréales constituent souvent une mosaïque complexe de forêts, de marécages et de formations intermédiaires. Deux articles s'intéressent aux réserves de carbone et aux processus des zones de transition qu'on étudie rarement. Bhatti et ses collaborateurs se sont penchés sur l'évolution des stocks de carbone dans la végétation et le sol en bordure des tourbières arborées du centre de la Saskatchewan, le long de transects reliant des forêts montagneuses aux tourbières. Nicholson et son équipe ont quant à eux étudié les tendances historiques et les conséquences de la sécheresse et des inondations sur la végétation et les réserves de carbone dans les marais tourbeux du nord de l'Alberta.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* **304**: 1623–1627.

Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecol. Manage.* **220**: 242–258.

McGuire, A. D., Wirth, C., Apps, M. J., Beringer, J., Clein, J., Epstein, H., Kicklighter, D. W., Bhatti, J. S., Chapin, F. S., III, de Groot, B., Efremov, D., Eugster, W., Fukuda, M., Gower, T., Hinzman, L., Huntley, B., Jia, G. J., Kasischke, E., Melillo, J., Romanovsky, V., Shvidenko, A., Vaganov, E. and Walker, D. 2002. Environmental variation, vegetation distribution, carbon dynamics, and water/energy exchange in high latitudes, *J. Veg. Sci.* **13**: 301–314.

Morgan, M. G., Pitelka, L. F. and Shevliakova, E. 2001. Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems. *Clim. Change* **49**: 279–307.

Guest Editors

J. S. Bhatti

Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, 5320 - 122 Street, Edmonton, Alberta, Canada T6H 3S5

C. M. Preston

Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 506 West Burnside Road, Victoria, British Columbia, Canada V8Z 1M5.

Le colloque et la rédaction de ce numéro spécial ont considérablement facilité le dialogue entre pédologues, écologistes, spécialistes de la modélisation et experts en tourbières. Au nom du comité chargé de la programmation du colloque, nous tenons à remercier les parrains « platine » de l'événement, en l'occurrence le service de développement rural et de l'alimentation d'Alberta Agriculture, le Fonds canadien d'adaptation et de développement rural, le Canadian Climate Impacts and Adaptation Research Network, le National Agroclimate Information Service, Forêts Canada de Ressources naturelles Canada, le Poplar Council of Canada, le Prairie Adaptation Research Collaborative et l'Université de l'Alberta. Nous remercions aussi le parrain « or », Canards illimités, ainsi que nos parrains « argent », Agrium et Merial/igenity. Les examinateurs doivent être félicités. Par leur méticulosité, ils ont veillé à ce que les manuscrits respectent les normes scientifiques les plus rigoureuses. Enfin, il convient de remercier la rédaction de la Revue canadienne de la science du sol d'avoir accordé toute l'attention voulue à ce numéro chargé afin d'en permettre la publication en temps opportun.

Bhatti, J. S., Lal, R., Apps, M. J. et Price, M. 2005. Climate change and managed ecosystems. CRC Press, Boca Raton, FL. 469 pp.

Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C. et Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. *Science* **263**: 185–190.

Elliot, W. J. 2003. Soil erosion in forest ecosystems and carbon dynamics. Pages 175–190 *dans* J. M. Kimble, L. S. Heath, R. A. Birdsey, and R. Lal, édés. The potential of US forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, Boca Raton, FL.

Hendrickson, O. 2003. Influence of global change on carbon sequestration by agricultural and forest soils. *Environ. Rev.* **11**: 161–192.

Johnson, D. W. et Curtis, P. S. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecol. Manage.* **140**: 227–238.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* **304**: 1623–1627.

Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecol. Manage.* **220**: 242–258.

McGuire, A. D., Wirth, C., Apps, M. J., Beringer, J., Clein, J., Epstein, H., Kicklighter, D. W., Bhatti, J. S., Chapin, F. S., III, de Groot, B., Efremov, D., Eugster, W., Fukuda, M., Gower, T., Hinzman, L., Huntley, B., Jia, G. J., Kasischke, E., Melillo, J., Romanovsky, V., Shvidenko, A., Vaganov, E. et Walker, D. 2002. Environmental variation, vegetation distribution, carbon dynamics, and water/energy exchange in high latitudes, *J. Veg. Sci.* **13**: 301–314.

Morgan, M. G., Pitelka, L. F. et Shevliakova, E. 2001. Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems. *Clim. Change* **49**: 279–307.

Rédacteurs invités

J. S. Bhatti

Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, 5320 - 122 Street, Edmonton, Alberta, Canada T6H 3S5

C. M. Preston

Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 506 West Burnside Road, Victoria, British Columbia, Canada V8Z 1M5